

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

تعیین چگالی و دمای الکترون مربوط به ستون پینچ پلازما در دستگاه پلاسمای کانونی بسیار کوچک ۳ ژول (PF-3J)

حیابی، مرتضی*^(۱) - جعفری، حسین^(۱)، پرویز پروین^(۲)، مجتبی رفیعی^(۱)

^(۱) دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، گروه مهندسی گداخت هسته‌ای

^(۲) دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، گروه لیزر و اپتیک

چکیده:

به منظور بررسی عملکرد یک دستگاه پلاسمای کانونی بسیار کوچک ۳ ژول (PF-3J) با نرخ تکرار تخلیه 1Hz، طیف نور مرئی آن توسط یک اسپکتروسکوپ AvaSpec ثبت گردید تا چگالی و دمای الکترون مربوط به پلاسمای پینچ دستگاه تعیین گردد. در این پژوهش، از روش تحلیل تعادل ترمودینامیکی موضعی بهره گرفته شد. تحلیل آزمایشات مشخص نمود که این دستگاه علی‌رغم کار با یک انرژی بسیار کم، قادر خواهد بود تا با عملکرد در فشار گاز آرگن 1/1 torr و ولتاژ کاری 1/5 kV یک پلاسمای بسیار چگال و داغ (چگالی الکترونی برابر با 10^{16} cm^{-3} و دمای تعادلی سیستم در حدود $1/43 \text{ eV}$) تولید نماید. این نتیجه اثباتی بر توانمندی این دستگاه در تولید تابش‌های پرانرژی همچون تابش فرابنفش می‌باشد. کلمات کلیدی: پلاسمای کانونی، اسپکتروسکوپی، چگالی و دمای الکترون.

مقدمه:

در سال‌های اخیر، مطالعات فراوانی بر روی پارامترهای مهم ستون پینچ پلاسمای تولید شده در دستگاه‌های پلاسمای کانونی انجام گرفته است تا بتوان با بهینه‌سازی آنها، به بیشترین بهره تولید نوترون، اشعه ایکس نرم و سخت، تابش فرابنفش و ذرات باردار دست یافت [1-3]. از جمله پارامترهای بسیار مهم پلاسمای پینچ می‌توان به چگالی و دمای الکترونی در طی فازهای مختلف دینامیک پلازما اشاره نمود. روش‌های متنوعی در اندازه‌گیری این پارامترها ارائه شده‌اند که از جمله‌ی آنها می‌توان به روش پراکندگی تامسون، پروب لانگمر و اسپکتروسکوپی نور مرئی اشاره نمود. دو روش اول از روش‌هایی هستند که به دلیل برخورد مستقیم با پلازما، می‌توانند فیزیک و هندسه پلازما را تغییر داده و همچنین ناپایداری‌هایی را نیز در آن ایجاد نمایند. در مقابل، با توجه به اینکه مطالعات پیش رو بر روی یک دستگاه پلاسمای کانونی بسیار کوچک (با انرژی ۳ ژول) انجام می‌گیرد، و نیز اینکه مدت زمان موجودیت ستون پلازما از مرتبه‌ی نانوثانیه

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

می باشد، انتظار می‌رود دمای الکترون‌های پلاسما اندکی پایین تر از دمای الکترون‌ها در دستگاه‌های انرژی بالا باشد؛ به عبارتی دیگر از مرتبه‌ی الکترون ولت خواهد بود. لذا، می‌توان از ابزار طیف سنجی نوری (بدون بروز هیچ گونه دخالتی در فیزیک و هندسه پلاسما) در محاسبه‌ی چگالی و دمای الکترون پلاسما بهره برد. از مزایای این روش می‌توان به سادگی چیدمان آزمایش، عدم دخالت در هندسه و فیزیک پلاسما توسط ابزار اندازه‌گیری، دقیق بودن نتایج و ارزان بودن ابزار آن اشاره نمود؛ با این وجود، تفسیر نتایج ابزارهای اسپکتروسکوپی نوری مربوط به پلاسمایی که دور از تعادل گرمایی کامل است (بویژه در پلاسمای پینچ دستگاه پلاسمای کانونی) دارای پیچیدگی‌هایی است که باید در روند محاسبات به آنها توجه نمود.

در این مقاله، تلاش شده است تا به منظور بررسی میزان تأثیرات پارامترهای فیزیکی یک دستگاه پلاسمای کانونی بسیار کوچک ۳ ژول (PF-3J) بر بهره تابش‌های مختلف تولیدی به ویژه تابش فرابنفش، نتایج اسپکتروسکوپی نور مرئی ستون پلاسمای آن تحلیل گردیده و سپس با اعمال تئوری مربوط به پلاسمای دستگاه، چگالی و دمای الکترون آن تعیین گردد.

چیدمان آزمایش :

با توجه به بهره‌ی بالای گاز آرگون در تولید تابش فرابنفش، شرایط کاری بهینه دستگاه PF-3J برای این گاز، با ولتاژ شارژ کنندگی در حدود ۸/۵kV و فشار کاری ۱/۱torr حاصل گردید. لذا در طول انجام تمامی تست‌ها نیز این فشار مذکور ثابت نگه داشته می‌شود. در این صورت دستگاه می‌تواند به عنوان یک چشمه تولید طیف وسیعی از امواج نور مرئی و تابش فرابنفش پالسی در نظر گرفته شود. می‌توان مشخصات الکتریکی و هندسی این دستگاه را در جدول ۱ مشاهده نمود.

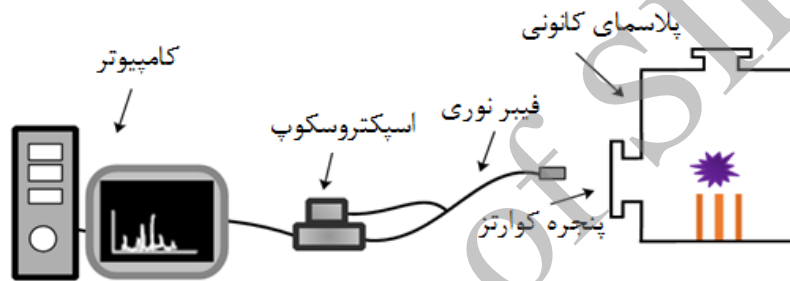
جدول ۱: مشخصات الکتریکی و هندسی دستگاه پلاسمای کانونی PF-3J.

پارامتر	مقدار	سمبول
ولتاژ کاری	۸ - ۹ kV	V
ظرفیت بانک خازنی	۸۴ nF	C ₀
انرژی	۳ J	E
ماکزیمم جریان	۷/۵ kA	I ₀
اندوکتانس کل	۴۸ nH	L
یک چهارم دوره تناوب	۱۰۰ ns	T/4
شعاع آند	۱/۲۵۶mm	a
طول عایق	۱۳ mm	l _{ins}

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

فشار گاز آرگون ۱/۱ torr P

با توجه به پالسی بودن عملکرد این دستگاه، باید از اسپکتروسکوپی استفاده شود که قادر باشد طیف موجود را به صورت پالسی ثبت نماید. لذا، به منظور ثبت اطاعات این تابش‌ها از اسپکتروسکوپ AvaSpec2048 استفاده می‌گردد که دارای یک تریگر تشخیص دهنده‌ی پالس بوده و قادر است طول موج‌های $1100 - 200 \text{ nm}$ را با قدرت 0.2 nm ثبت نماید. چیدمان مربوط به آزمایشات را می‌توان در شکل ۱ مشاهده نمود.



شکل شماره (۱): چیدمان مربوط به ثبت طول موج طیف نور گسیلی از دستگاه PF-3J

همانطور که از شکل (۱) مشخص است پنجره محفظه‌ی PF-3J از جنس کوآرتز در نظر گرفته شده است تا بتوان طول موج‌های $200 - 300 \text{ nm}$ را نیز ثبت نمود. چشمی فیبر نوری اسپکتروسکوپ دارای قطر 0.1 mm بوده که برای ثبت طول موج‌ها در دو آزمایش مختلف، به ترتیب به صورت عمود بر محور آند و در بالای آند قرار داده می‌شود. در هر دو سناریوی تست، فاصله این چشمی با آند بگونه‌ای تعیین گردید که اسپکتروسکوپ به اشباع نرود. با توجه به اینکه شعاع آند و در نتیجه شعاع ستون پینچ پلازما از مرتبه چند دهم میلی متر است، لذا شدت نور گسیلی دستگاه در مقایسه با دستگاه‌های چند کیلو ژول پایین تر خواهد بود. با اجرای یک آزمایش اولیه جهت تعیین فاصله‌ی بهینه، این فاصله برابر 12 cm تعیین گردید. نکته‌ی دیگر در تنظیم نرم افزار اسپکتروسکوپ تعیین زمان داده‌برداری می‌باشد. با توجه به اینکه آزمایشات به صورت تک شات اجرا می‌شوند و نیز این نکته که مدت زمان فازهای دینامیک پلازما در دستگاه PF-3J در حدود 250 ns است، زمان داده‌برداری و زمان تاخیری به ترتیب برابر 2 ms و $1/2 \mu\text{s}$ انتخاب می‌گردند.

نتایج آزمایشات و بحث :

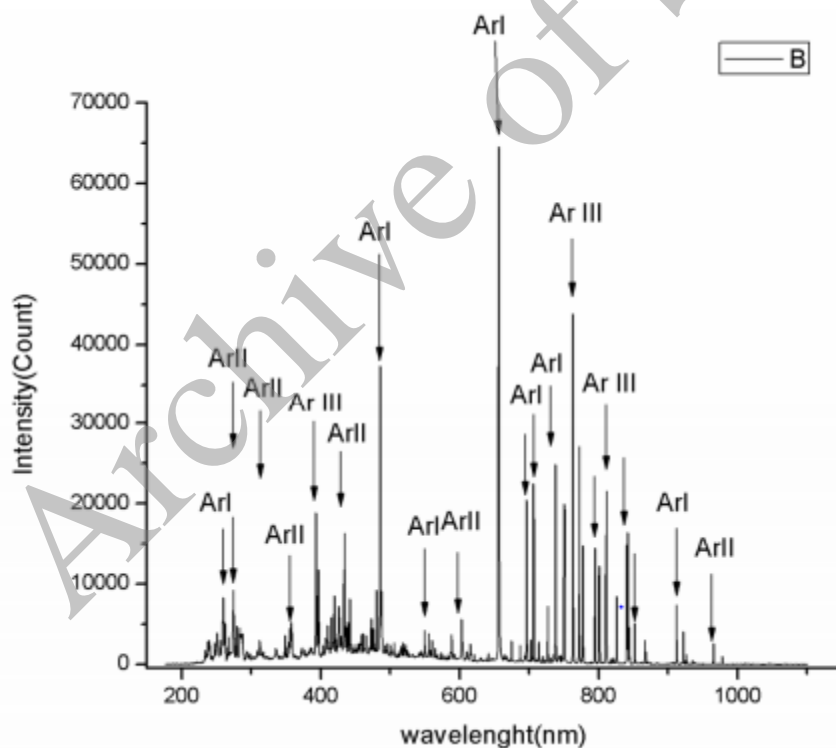
بعد از تنظیم شرایط کاری دستگاه در ولتاژ $8/5 \text{ kV}$ و فشار گاز آرگون $1/1 \text{ torr}$ ، و نیز قرار دادن چشمی فیبر نوری اسپکتروسکوپ در مقابل آند، اقدام به ثبت طیف امواج گسیلی از ستون پلاسمای تشکیل شده در بالای آند می‌گردد. به

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

منظور اطمینان از صحت نتایج ثبت شده، دستگاه در حالت تخلیه تکراری با فرکانس ۱ Hz قرار گرفت و سپس با ثبت ۱۰ طیف متوالی برای شرایط آزمایشی یکسان، اقدام به میانگیری از مجموع طیف‌ها گردید.

- محاسبه دمای الکترون

به منظور محاسبه دمای الکترون باید حالت‌های مختلف اندازه‌گیری در شناسایی طیف مشخص گردد. لذا با مشخص بودن نوع گاز و نیز محدوده‌ی طول موجی (۱۱۰۰-۲۰۰ nm) تمامی جهش‌های ممکنه در طیف ثبت شده که مربوط به حالت‌های برانگیخته و یونی می باشد، با خط مکان نمای پیکان متمایز می گردند. می توان جهش‌های مشخص شده بر روی طیف امواج مرئی دستگاه PF-3J برای گاز آرگون در فشار ۱/۱ torr را در شکل (۲) مشاهده نمود.



شکل شماره (۲): جهش‌های مشخص شده بر روی طیف امواج مرئی دستگاه PF-3J

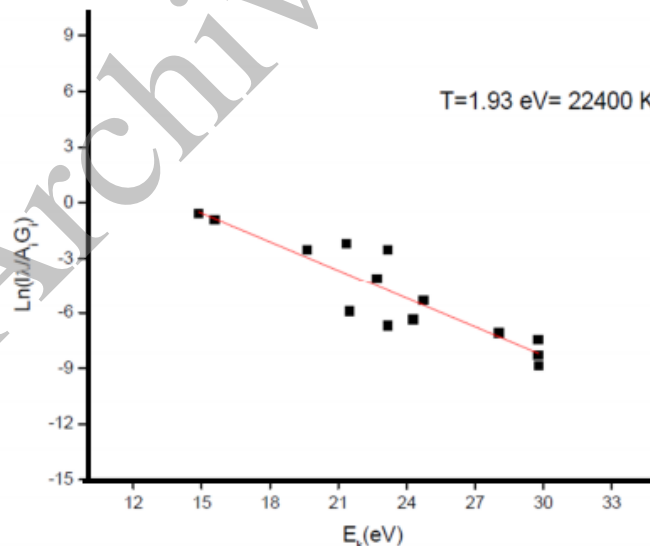
۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

در تعادل ترمودینامیکی موضعی، دمای گونه‌های سنگین و سبک تقریباً با یکدیگر برابر خواهند بود ($T_i \approx T_e$) و جمعیت نسبی ترازهای اتمی و یونی از توزیع بولتزمان پیروی می‌نماید. در این صورت رابطه‌ی (۱) که ارتباط بین انرژی برانگیختگی و شدت گسیلی خطوط را نشان دهد، تعریف می‌گردد [2-3]:

$$\ln\left(\frac{I \lambda}{g_k A_{ki}}\right) = -\frac{E_k}{kT} - \ln\left(\frac{4\pi}{hcN_0}\right) \quad (1)$$

که I شدت خطوط طیفی، g_k وزن آماری سطوح بالاتر، A_{ki} احتمال انتقال، E_k انرژی حالت نهایی و k ثابت بولتزمان است.

بنابراین می‌توان برای هر جهش در طیف گسیلی، با توجه به شدت‌های ثبت شده برای طول‌موج‌های مختلف، و نیز مشخص بودن ثابت‌های $g_k A_{ki}$ و E_k ، معادله‌ی (۱) را محاسبه نموده و یک نقطه در نمودار $\ln(I \lambda / g A)$ بر حسب E_k به دست آورد. لذا، با گرفتن یک رگرسیون برای نقاط به دست آمده، مناسبترین خط با شیبی مشخص (شکل ۳) به عنوان دمای تعادلی سیستم در نظر گرفته می‌شود. همانطور که از شکل ۳ مشخص است دمای تعادلی سیستم در حدود $1/93 \text{ eV}$ به دست آمده است که نشان از دمای بسیار بالای پلاسمای PF-3J دارد.



شکل شماره (۳): رگرسیون گیری از نقاط تعادلی جهت تعیین خط دما.

- محاسبه چگالی الکترون

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

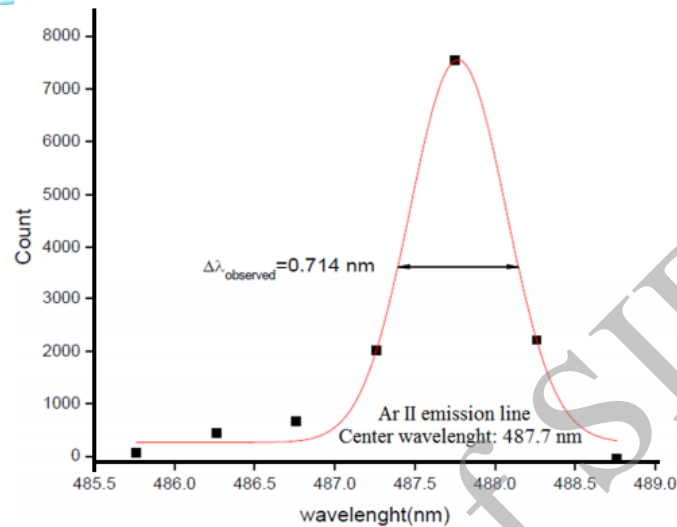
در دستگاه پلاسمای کانونی به دلیل حضور میدان الکتریکی قوی در محیط پلاسما، اختلالاتی در ترازهای انرژی اتمی و یونی بوجود می‌آید که به صورت پهن شدگی در طیف ظاهر می‌گردد. این پهن شدگی به پهن شدگی اشتارک معروف است که به دلیل اثر مرتبه‌ی دوم میدان الکتریکی بر اتم‌ها و یون‌ها در پلاسما می‌باشد. در نتیجه‌ی اثر اشتارک، الکترون‌های پلاسما انرژی سطوح یونی و اتمی را جذب می‌نماید؛ لذا در اندازه گیری چگالی الکترونی دستگاه پلاسمای کانونی از پارامتر پهن شدگی مربوط به یون‌ها صرف نظر می‌شود. می‌توان اثر مرتبه دوم اشتارک را به شکل رابطه (۲) تعریف نمود [3-4]:

$$\Delta\lambda_{FWHM} = 2\alpha\left(\frac{n_e}{10^{16}}\right) + 3.5A\alpha\left(\frac{n_e}{10^{16}}\right)^{4/5} (1 - B N_D^{-1/3}) \quad (2)$$

که $\Delta\lambda_{FWHM}$ نیم پهنای نیم بیشینه بر حسب nm، α پارامتر برخورد الکترونی بر حسب \AA ، n_e چگالی الکترونی بر حسب cm^{-3} ، A پهن شدگی مربوط به یون‌ها، B ضریب خطوط یونی و N_D تعداد ذرات در کره‌ی دمای بر حسب cm^{-3} می‌باشند.

به منظور محاسبه‌ی چگالی الکترون، می‌توان از یک جهش با طول موج خاص استفاده نمود زیرا در این روش پارامتر برخورد الکترونی نیز در دست می‌باشد. در این کار، از جهش موجود در طیف گاز آرگون در طول موج $487/5\text{nm}$ استفاده می‌گردد. در این صورت با توجه به تعریف نیم پهنای نیم بیشینه طیف، پارامتر $\Delta\lambda_{FWHM}$ را محاسبه نمود (شکل ۴) که برای این طول موج برابر با $0/714\text{nm}$ به دست آمد. در نهایت، ضمن تأیید گرفتن اثر یون‌ها بر پلاسما و با جاگذاری پارامترهای محاسبه شده در رابطه (۲) می‌توان چگالی الکترون پلاسما را محاسبه نمود که برای پلاسمای دستگاه PF-3J چگالی الکترونی برابر با 10^{16}cm^{-3} محاسبه گردید. این نتیجه مشخص می‌نماید که دستگاه PF-3J قادر است با عملکرد در شرایط بهینه خود (ولتاژ $8/5\text{kV}$ و فشار گاز آرگون $1/1\text{torr}$) یک پلاسمای چگال و داغ را تولید نموده که محصولات آن می‌تواند تابش‌های پرنرژی همچون تابش فرابنفش باشد.

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل شماره (۵): جهش‌های مشخص شده بر روی طیف امواج مرئی دستگاه PF-3J.

نتیجه گیری :

با عملکرد دستگاه پلاسمای کانونی بسیار کوچک ۳ ژول (PF-3J) در نرخ تکرار ۱ Hz و ثبت طیف نور مرئی آن توسط یک اسپکتروسکوپ AvaSpec مشخص گردید که این دستگاه علی‌رغم کار با یک انرژی بسیار کم، قادر خواهد بود تا با عملکرد در فشار گاز آرگن ۱/1 torr و ولتاژ کاری ۸/۵ kV یک پلاسمای بسیار چگال و داغ (چگالی الکترونی برابر با 10^{16} cm^{-3} و دمای تعادلی سیستم در حدود ۱/۹۳ eV) تولید نماید. این نتیجه اثباتی بر توانمندی این دستگاه در تولید تابش‌های پرنرژی همچون تابش فرابنفش می‌باشد.

مراجع :

- [1] Martínez-Fuentes, M., et al. Dynamics of the expansion discharge originated by a dense plasma focus. in Journal of Physics: Conference Series. 2012. IOP Publishing.
- [2] Tomita, K., et al., Collective Thomson scattering diagnostics of EUV plasmas. J. Plasma Fusion Res, 2009. 8: p. 488.
- [3] Hong, Y.J., et al., Measurement of electron temperature and density using Stark broadening of the coaxial focused plasma for extreme ultraviolet lithography. Plasma Science, IEEE Transactions on, 2010. 38(5): p. 1111-1117.
- [3] Study of the Electrode Material and Insulator Length Effect on High Energy X Rays Emitted by a 4 kJ Plasma Focus Device, M. Habibi, Plasma Physics Report, Vol. 38, No. 7, pp. 566-573, (2012)



۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ شماره ۱ و ۲

[4] Feugas, J. and G. Grigioni, Optical emission spectroscopy of electrical focii discharges. Journal of Physics D: Applied Physics, 1997. 30(14): p. 2026.

Archive of SID

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

نورنگه آفریدی

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

نورنگه آفریدی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

نورنگه آفریدی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو